

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
6. Mai 2005 (06.05.2005)

PCT

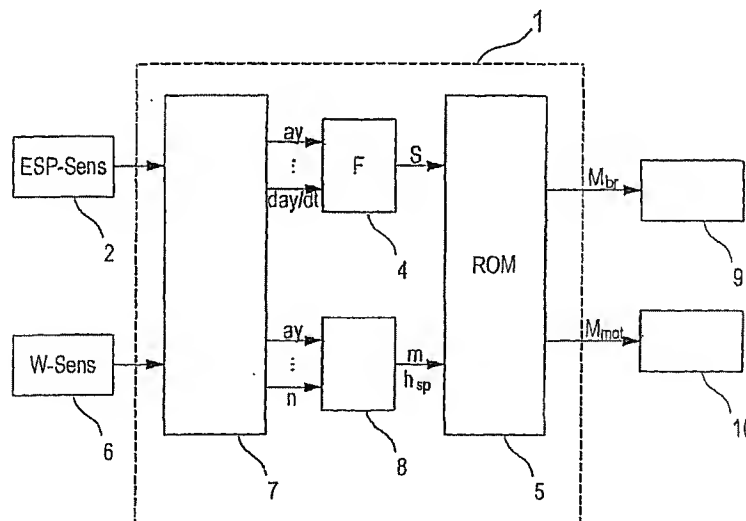
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2005/039955 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation⁷: B62D (72) Erfinder; und
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2004/002057 (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): NENNINGER, Gero [DE/DE]; Auf Hart 75, 71706 Markgroeningen (DE). NIMMO, Matthew [DE/DE]; Kastanienallee 19, 71368 Ludwigsburg (DE). GRAF, Gerald [DE/DE]; Hofstattstr. 12, 71116 Gaertringen (DE). BOROS, Laszlo [DE/DE]; Kelterstr. 35, 70825 Korntal (DE).
(22) Internationales Anmeldedatum: 15. September 2004 (15.09.2004)
(25) Einreichungssprache: Deutsch
(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
(30) Angaben zur Priorität: 103 49 635.1 24. Oktober 2003 (24.10.2003) DE 10 2004 006 696.5 11. Februar 2004 (11.02.2004) DE
(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): ROBERT BOSCH GMBH [DE/DE]; Postfach 30 02 20, 70442 Stuttgart (DE).
(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: DRIVING DYNAMICS CONTROL SYSTEM ADAPTED TO THE LOADING STATUS OF A VEHICLE

(54) Bezeichnung: AN DEN BELADUNGSZUSTAND EINES FAHRZEUGS ANGEPASTES FAHRDYNAMIKREGELUNGS-SYSTEM



(57) Abstract: The invention relates to a method for stabilizing the tilting of a vehicle during critical driving situations, wherein a tilting stabilization algorithm (4,5,8) engages in the drive operation by means of an actuator (3,9,10) during a critical situation in order to stabilize the vehicle. Different loading states of the vehicle can be taken into account in view of the fact that the mass of the vehicle (m), the characteristic speed (Vch) and the vertical force ratio of the wheels (FN1/FNr) are detected and the tilting stabilization algorithm (4,5,8) is executed depending upon the mass of the vehicle (m) or the estimated center of gravity (h,p) of the vehicle.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen noch Erhalt des Berichts

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gozette verwiesen.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Kippstabilisierung eines Fahrzeugs in kritischen Fahrsituationen, bei dem ein Kippstabilisierungsalgorithmus (4,5,8) in einer kritischen Situation mittels eines Aktuators (3,9,10) in den Fahrbetrieb eingreift, um das Fahrzeug zu stabilisieren. Unterschiedliche Beladungszustände des Fahrzeugs können dadurch berücksichtigt werden, dass die Fahrzeugmasse (m) sowie die charakteristische Geschwindigkeit (V_{ch}) und das Radaufstandskraftverhältnis ($FN1/FNr$) ermittelt und der Kippstabilisierungsalgorithmus (4,5,8) in Abhängigkeit von der Fahrzeugmasse (m) bzw. dem geschätzten Fahrzeugschwerpunkt (h_p) ausgeführt wird.

5

Beschreibung

10

An den Beladungszustand eines Fahrzeugs angepasstes
Fahrdynamikregelungssystem

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Stabilisieren eines
15 Fahrzeugs in kippkritischen Situationen gemäß dem Oberbegriff
des Patentanspruchs 1, sowie ein Fahrdynamikregelungssystem
zur Kippstabilisierung eines Fahrzeugs gemäß dem Oberbegriff
des Patentanspruchs 9.

20 Fahrzeuge mit hohem Schwerpunkt, wie z.B. Minivans, SUVs
(Sport Utility Vehicles) oder Transporter, neigen
insbesondere bei Kurvenfahrten mit zu hoher Querbeschleu-
nigung zum Kippen um die Längsachse. Es werden daher häufig
Kippstabilisierungssysteme, wie z.B. ROM (Roll-Over-
25 Mitigation) eingesetzt, mit denen kippkritische Situationen
frühzeitig erkannt und Stabilisierungsmaßnahmen ausgelöst
werden können. Bekannte Fahrdynamikregelungssysteme, wie z.B.
ESP, mit Kippstabilisierungsfunktion (ROM) greifen in der
Regel mittels des Bremssystems, des Motormanagements oder
30 einer aktiven Lenkung in den Fahrbetrieb ein, um das Fahrzeug
zu stabilisieren. Ein aus dem Stand der Technik bekanntes
Fahrdynamikregelungssystem mit ROM-Funktion ist beispielhaft
in Fig. 1 dargestellt.

35 Fig. 1 zeigt eine stark vereinfachte schematische
Blockdarstellung eines bekannten ROM-Systems, das im
wesentlichen ein Steuergerät 1 mit einem ROM-Regelalgorithmus
4,5, eine Sensorik 2 zum Erkennen eines kippkritischen
Fahrzustandes und einen Aktuator 3 zum Durchführen eines
40 Stabilisierungseingriffs umfasst. Erkennt das Steuergerät 1
aufgrund der Sensorsignale der ESP-Sensorik 2 eine

5 kippkritische Situation, greift die Fahrdynamikregelung z.B. durch Betätigung der Radbremse am kurvenäußeren Vorderrad in den Fahrbetrieb ein. Dadurch wird die Querb beschleunigung und die Giergeschwindigkeit des Fahrzeugs verringert und das Fahrzeug stabilisiert. Andere Systeme nutzen z.B. ein aktives
10 Feder/Dämpfersystem (Normalkraftverteilungssystem), das Motormanagement oder ein aktives Lenksystem, um das Fahrzeug zu stabilisieren.

Eine wesentliche Ursache für das Kippen eines Fahrzeugs um
15 die Längsachse ist in der Regel eine zu hohe Querb beschleunigung. Moderne Fahrdynamikregelungssysteme nutzen daher üblicherweise eine die Querdynamik des Fahrzeugs beschreibende Größe (die im Folgenden als Indikatorgröße S bezeichnet wird), um eine kippkritische Fahrsituation zu
20 erkennen. Die Indikatorgröße wird mit einem charakteristischem Schwellenwert verglichen und bei Überschreiten der Schwelle ein Stabilisierungseingriff ausgelöst. Die Indikatorgröße bestimmt üblicherweise auch die Stärke des Stabilisierungseingriffs.

25 Fig. 2 zeigt die verschiedenen Eingangsgrößen, die in die Berechnung der Indikatorgröße S einfließen. Eine wesentliche Komponente ist dabei die Querb beschleunigung a_y des Fahrzeugs. Da die Querb beschleunigung a_y der Lenkvorgabe (Lenkradstellung) phasenverzögert folgt, wird der Messwert der
30 Querb beschleunigung a_y üblicherweise in Abhängigkeit von der Änderung des Lenkwinkels und gegebenenfalls weiterer Einflussgrößen P , wie z.B. der zeitlichen Änderung der Querb beschleunigung da_y/dt , erhöht. Die resultierende
35 sogenannte effektive Querb beschleunigung, die gleichzeitig die Indikatorgröße S bildet, ist somit eine Funktion F der Querb beschleunigung a_y , der zeitlichen Änderung der Querb beschleunigung da_y/dt des Fahrzeugs und gegebenenfalls weiterer Einflussgrößen P .

40

5 Wie in Fig.2 zu erkennen ist, werden die Eingangsgrößen $a_y, d_{ay}/dt, P$ gemäß einer Funktion 4 verknüpft und daraus die Indikatorgröße S berechnet. Die so gewonnene Indikatorgröße S wird schließlich dem Regelalgorithmus 5 zugeführt und bestimmt die Dauer und Stärke des Regeleingriffs.

10

Das Kippverhalten eines Fahrzeugs ist neben den konstruktiven Eigenschaften des Fahrzeugs im wesentlichen von der Beladung abhängig. Mit zunehmender Beladung wächst in der Regel die Kippneigung des Fahrzeugs und umgekehrt. Darüber hinaus
15 können sich auch konstruktive Merkmale, wie z.B. die Federung, altersbedingt verändern und somit auf die Kippneigung des Fahrzeugs auswirken. Beladung und mechanischer Zustand werden bei den bekannten Fahrdynamikregelungen mit Kippstabilisierungsfunktion ROM üblicherweise
20 nicht explizit berücksichtigt.

Bekannte Kippstabilisierungsfunktionen ROM sind daher üblicherweise sehr empfindlich, d.h. auf hohe Beladungszustände und weiche Federung abgestimmt, um
25 insbesondere bei Fahrzeugen mit hoher Beladungsvarianz wie z.B. SUVs oder Kleintransportern, ein sicheres Fahrverhalten zu gewährleisten. Dies führt dazu, dass bei normaler Beladung ein Stabilisierungseingriff schon bei sehr niedrigen Querbeschleunigungswerten ausgelöst wird. D.h., bei normaler
30 oder geringer Beladung können die Kippstabilisierungseingriffe zu früh und zu heftig stattfinden.

Es ist daher die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zur Kippstabilisierung von Fahrzeugen, sowie ein
35 entsprechendes Fahrdynamikregelungssystem zu schaffen, mit dem der Beladungszustand eines Fahrzeug und somit dessen Kippneigung in einfacher Weise abgeschätzt und im Rahmen eines Kippstabilisierungsalgorithmus berücksichtigt werden kann.

40

5 Gelöst wird diese Aufgabe gemäß der Erfindung durch die im Patentanspruch 1 sowie im Patentanspruch 9 angegebenen Merkmale. Weitere Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand von Unteransprüchen.

10 Ein wesentlicher Aspekt der Erfindung besteht darin, die aktuelle Kippneigung des Fahrzeugs zu bestimmen, indem wenigstens die Masse des Fahrzeugs (oder der Zuladung) ermittelt wird, und das Reglerverhalten des Kippstabilisierungsalgorithmus auf die aktuelle Fahrzeugmasse
15 abzustimmen. Dadurch kann der Kippstabilisierungsalgorithmus an den jeweiligen Beladungszustand bzw. die jeweilige Kippneigung des Fahrzeugs angepasst werden.

Die Fahrzeugmasse kann z.B. mittels einer Sensorik, wie z.B.
20 einer Radkraftsensorik zur Bestimmung der Normalkräfte (Radaufstandskräfte) oder einer Sensorik zur Messung des Einfederwegs bestimmt werden. Wahlweise kann die Fahrzeugmasse auch durch Auswertung des Fahrverhaltens, wie z.B. des Beschleunigungs- oder Bremsverhaltens des Fahrzeugs,
25 unter Aufstellung einer Kräfte- oder Momentenbilanz geschätzt werden. Hierzu sind verschiedene Schätzverfahren bereits bekannt. Das Schätzen der Fahrzeugmasse hat den Vorteil, dass neben der ohnehin vorhandenen ESP-Sensorik keine weitere Sensorik vorgesehen werden muss. Zum Schätzen der
30 Fahrzeugmasse werden z.B. die Raddrehzahlsensoren und das Motormomentensignal ausgewertet, optional ein Querschleunigungs- und Gierratensensor, ein Lenkwinkelsensor und/oder ein Längsbeschleunigungssensor.

35 Die erhaltene (gemessene oder geschätzte) Information über die Fahrzeugmasse kann schließlich von der Fahrdynamikregelung berücksichtigt werden.

Die Kippneigung eines Fahrzeugs wird neben der Höhe (Masse)
40 der Zuladung insbesondere auch durch die Position bzw. Verteilung der Zuladung beeinflusst. Es wird daher

- 5 vorgeschlagen, vorzugsweise auch eine Information über die Position der Zuladung, insbesondere die Schwerpunktshöhe (der Zuladung oder des Fahrzeugs), zu ermitteln und bei der Kippstabilisierung zu berücksichtigen.
- 10 Gemäß einer ersten Ausführungsform der Erfindung wird der Fahrzeugschwerpunkt (dies umfasst auch eine Information, aus der sich der Fahrzeugschwerpunkt herleiten lässt) zusätzlich durch Auswertung einer charakteristischen Geschwindigkeit v_{ch} des Fahrzeugs geschätzt. Die charakteristische
- 15 Geschwindigkeit ist ein Parameter in der bekannten "Ackermann-Gleichung" und beschreibt das Eigenlenkverhalten eines Fahrzeugs. Bei üblicher Fahrwerksauslegung gilt, dass ein Fahrzeug bei einer Verschiebung des Schwerpunkts nach oben ein stärker untersteuerndes Fahrverhalten zeigt und
- 20 somit eine kleinere charakteristische Geschwindigkeit hat und umgekehrt. Bei einer Verschiebung des Schwerpunkts (bei konstanter Masse und Schwerpunktshöhe) nach hinten; zeigt ein Fahrzeug dagegen ein weniger untersteuerndes Fahrverhalten und somit eine höhere charakteristische Geschwindigkeit v_{ch}
- 25 und umgekehrt. Die charakteristische Geschwindigkeit v_{ch} wird bei bekannten Fahrdynamikregelungen üblicherweise selbst wiederum geschätzt. Aus der Abweichung der geschätzten charakteristischen Geschwindigkeit v_{chEst} von der nominalen charakteristischen Geschwindigkeit v_{chNom} kann somit zumindest
- 30 qualitativ eine Information über die Position der Ladung (Höhe des Schwerpunkts und/oder Position in Längsrichtung des Fahrzeugs) gewonnen werden.

- Gemäß einer zweiten Ausführungsform der Erfindung kann die
- 35 Position des Fahrzeugschwerpunkts und insbesondere die Schwerpunktshöhe aus einer Betrachtung der Radaufstandskräfte an einem kurveninneren und einem kurvenäußeren Rad bei einer Kurvenfahrt geschätzt werden. Bei einem hohen Massenschwerpunkt ist die Radaufstandskraft am kurvenäußeren Rad
- 40 vergleichsweise höher als bei einem niedrigen Massenschwerpunkt (gleiche Masse der Zuladung) bei gleicher

- 5 Querbesehleunigung. Durc h die erhöhte Kippneigung des
Fahrzeugs werden die kurveninneren Räder bei hohem
Massensc hwerpunkt stärker entlastet. Aus dem Verhältni s der
Radaufstandskräfte F_{M1}/F_{Nr} eines kurveninneren und eines
kurvenäußeren Rades lässt sich somit die Höhe des
10 Fahrzeugschwerpunkts qualitativ abschätzen.

- Die Radaufstandskräfte F_N können wiederum entweder mittels
einer geeigneten Sensorik gemessen oder aus dem Verhältnis
der Radschlüpf e der einzelnen Räder geschätzt werden. Die
15 Radschlüpf e können wiederum mittels der ohnehin vorhandenen
ESP-Sensorik, insbesondere der Raddrehzahlsensoren, berechnet
werden.

- Gemäß einer dritten Ausführungsform der Erfindung können die
20 in den Ausführungsformen 1 und 2 beschriebenen
Schätzverfahren kombiniert werden, um eine qualitative
Verbesserung und eine höhere Verfügbarkeit der geschätzten
Schwerpunktshöhe zu erreichen.

- 25 Die erfindungsgemäß ermittelte Information über die
Kippneigung des Fahrzeugs (d.h. die Fahrzeugmasse und ggf.
zusätzlich die geschätzte Position des Schwerpunkts) kann
gemäß einer ersten Ausführungsform in die Berechnung der
Indikatorgröße S einfließen und somit den Auslösezeitpunkt
30 bzw. Deaktivierungszeitpunkt der Regelung beeinflussen.

- Wahlweise kann die Information über die Kippneigung auch in
den Kippstabilisierungsalgorithmus selbst einfließen und eine
charakteristische Eigenschaft des Algorithmus, wie z.B. eine
35 Anregelschwelle ($a_{y,krit}$), eine Regelabweichung, z.B. für einen
Radschlupf, oder eine Stellgröße, wie z.B. das Bremsmoment
oder das Motormoment, beeinflussen. Die charakteristische
Eigenschaft des Algorithmus ist somit eine Funktion der
Kippneigung des Fahrzeugs, d.h. der Fahrzeugmasse und ggf..
40 zusätzlich der Position des Fahrzeugschwerpunkts. Bei hoher
Kippneigung, d.h. hoher Fahrzeugmasse oder hohem Schwerpunkt,

- 5 kann somit ein Stabilisierungseingriff früher eingeleitet
oder mit stärkerem Ausmaß durchgeführt werden als bei
geringer Kippneigung.

Ein erfindungsgemäßes Fahrdynamikregelungssystem mit
10 Kippstabilisierungsfunktion umfasst vorzugsweise eine
Einrichtung (Sensorik oder Schätzalgorithmus), mittels der
die Fahrzeugmasse und/oder die Position des
Fahrzeugschwerpunkts berechnet oder geschätzt werden kann,
ein Steuergerät, in dem der Kippstabilisierungsalgorithmus
15 hinterlegt ist, wobei der Kippstabilisierungsalgorithmus
derart realisiert ist, dass das Regelverhalten des
Algorithmus von der Fahrzeugmasse und/oder der Position des
Fahrzeugschwerpunkts abhängig ist.

- 20 Die Erfindung wird nachstehend anhand der beigefügten
Zeichnungen beispielhaft näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Blockdarstellung eines bekannten
Kippstabilisierungssystems;

25

Fig. 2 eine schematische Darstellung einer Funktion zur
Bildung einer Indikatorgröße S ;

- Fig. 3 eine Blockdarstellung eines Kippstabilisierungssystems
30 gemäß einer Ausführungsform der Erfindung;

Fig. 4 die Schlupf- und Aufstandskraftverhältnisse bei
Geradeaus- und Kurvenfahrt; und

- 35 Fig. 5 die Abhängigkeit der kritischen Querbesehleunigung von
der Schwerpunktshöhe.

Bezüglich der Erläuterung der Fig. 1 und 2 wird auf die
Beschreibungseinleitung verwiesen.

40

5 Fig. 3 zeigt eine schematische Blockdarstellung eines
Kippstabilisierungssystems. Das System umfasst im
wesentlichen ein Steuergerät 1 mit einem Kippstabilisierungs-
algorithmus ROM (Roll-Over-Mitigation), eine Sensorik 2 zum
Erfassen von Fahrzustandsgrößen und verschiedene Aktuatoren
10 9,10, mit denen die erforderlichen Stabilisierungseingriffe
umgesetzt werden. Die Blocks 4,7,8 sind in Software
realisiert und dienen der Verarbeitung der Sensorsignale
(Block 7), der Schätzung der Kippneigung (durch Schätzung der
Fahrzeugmasse und der Position des Schwerpunkts) des
15 Fahrzeugs (Block 8), und der Erzeugung einer Indikatorgröße S
(Block 4).

Das Kippstabilisierungssystem nutzt in diesem Beispiel
ausschließlich die bereits vorhandene ESP-Sensorik 2, sowohl
20 zum Erkennen einer kippkritischen Fahrsituation als auch zum
Schätzen der Fahrzeugmasse m und der Höhe des Schwerpunkts
 h_{sp} . (Wahlweise könnte auch eine zusätzliche Sensorik
vorgesehen sein, mittels der die gesuchten Größen (m, h_{sp})
gemessen werden können.)

25 Die ESP-Sensorik 2 umfasst insbesondere Raddrehzahlsensoren,
einen Lenkwinkelsensor, einen Querschleunigungssensor,
einen Gierratensensor, etc.. Die Sensorsignale werden in
Block 7 verarbeitet und dabei insbesondere entstört und
30 gefiltert. Vorzugsweise wird auch eine Plausibilitäts-
überwachung der Sensorsignale durchgeführt.

Ausgewählte Signale, nämlich die Querschleunigung a_y , der
Gradient da_y/dt und gegebenenfalls weitere Größen P fließen
35 in den Block 4. Darin wird, wie vorstehend bezüglich Fig. 2
beschrieben wurde, eine Indikatorgröße S berechnet, die die
Freigabe bzw. Deaktivierung von Stabilisierungseingriffen
steuert. Die Indikatorgröße S bestimmt dabei auch die Stärke
der Stabilisierungseingriffe.

40

- 5 Um unterschiedliche Beladungszustände des Fahrzeugs bei der Kippstabilisierung berücksichtigen zu können, ist zusätzlich ein Block 8 vorgesehen. Block 8 umfasst Algorithmen, mit denen sich die Fahrzeugmasse m (bzw. eine Information, aus der sich die Fahrzeugmasse ableiten lässt) und die Höhe des
- 10 Fahrzeugschwerpunkts h_{sp} schätzen lassen. Die gesuchten Schätzgrößen m , h_{sp} werden insbesondere aus der Querschleunigung a_y , den Raddrehzahlen n , dem Motormoment und der Gierrate ermittelt.
- 15 Die Schätzwerte m, h_{sp} werden schließlich dem Kippstabilisierungsalgorithmus zugeführt und dazu verwendet, eine charakteristische Eigenschaft des Algorithmus, wie z.B. eine Anregelschwelle ($a_{y,krit}$), eine Regelabweichung, z.B. für einen Radschlupf, oder eine Stellgröße, wie z.B. das
- 20 Bremsmoment oder das Motormoment, zu verändern. Wahlweise könnte auch die Indikatorgröße S modifiziert werden. Die charakteristische Eigenschaft des Algorithmus ist somit eine Funktion der Fahrzeugmasse m und/oder der Position des Fahrzeugschwerpunkts h_{sp} . Bei hoher Kippneigung, d.h. hoher
- 25 Fahrzeugmasse m oder hohem Schwerpunkt h_{sp} , kann somit ein Stabilisierungseingriff früher eingeleitet oder mit stärkerem Ausmaß durchgeführt werden als bei geringer Kippneigung.

Die Fahrzeugmasse m wird z.B. bei einem Brems- oder

30 Beschleunigungsvorgang durch Aufstellung einer Kräftebilanz der am Fahrzeug wirkenden Kräfte unter Berücksichtigung der Beschleunigung bzw. Verzögerung des Fahrzeugs ermittelt.

Die Position des Schwerpunkts in z-Richtung (vertikale

35 Richtung) als auch in Fahrzeuglängsrichtung (vorne, hinten) kann beispielsweise über die charakteristische Geschwindigkeit v_{ch} des Fahrzeugs geschätzt werden. Die charakteristische Geschwindigkeit v_{ch} ist ein Parameter, der das Eigenlenkverhalten eines Fahrzeugs beschreibt. Nach der

40 Ackermann-Gleichung, die die Gierrate $d\psi/dt$ eines Fahrzeugs gemäß dem sogenannten "Einspurmodell" berechnet, gilt:

5

$$d\psi/dt = \frac{v_x \cdot \delta_R}{l \cdot (1 + v_x^2 : v_{ch}^2)}$$

10 wobei v_x die Fahrzeuggeschwindigkeit in Längsrichtung, δ_R der Lenkwinkel, l der Radstand und v_{ch} die charakteristische Geschwindigkeit ist.

Bei üblicher Fahrwerksauslegung gilt, dass ein Fahrzeug bei einer Verschiebung des Schwerpunkts nach oben ein stärker untersteuerndes Fahrverhalten zeigt und somit eine kleinere charakteristische Geschwindigkeit v_{ch} hat und umgekehrt. Bei einer Verschiebung des Schwerpunkts (bei konstanter Masse und Schwerpunktshöhe) nach hinten, zeigt ein Fahrzeug dagegen ein weniger untersteuerndes Fahrverhalten und somit eine höhere charakteristische Geschwindigkeit v_{ch} und umgekehrt.

20

Durch Abschätzung der charakteristischen Geschwindigkeit v_{ch} aus der vorgenannten Beziehung lässt sich zumindest eine qualitative Information über die Position des Fahrzeugschwerpunkts bzw. die Verteilung der Zuladung im Fahrzeug ermitteln. Je nachdem, ob die geschätzte charakteristische Geschwindigkeit größer oder kleiner ist als ein Nominalwert $v_{ch,nominal}$ (z.B. ohne Zuladung) kann somit eine Aussage über die Position des Masseschwerpunkts getroffen werden. Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über die qualitativen Aussagen, die durch Abschätzung der charakteristischen Geschwindigkeit v_{ch} getroffen werden können. Die erste Tabelle gilt dabei beispielhaft für kleine Zuladung und die zweite Tabelle für große Zuladung.

30

kleine Zuladung	Beladung mittig	Beladung hinten
hoher Ladungsschwerpunkt	$v_{ch} < v_{ch_nominal}$	$v_{ch} < v_{ch_nominal}$
niedriger Ladungsschwerpunkt	$v_{ch} \approx v_{ch_nominal}$	$v_{ch} > v_{ch_nominal}$

35

hohe Zuladung	Beladung mittig	Beladung hinten
hoher Ladungsschwerpunkt	$V_{ch} \ll V_{ch_nominal}$	$V_{ch} < V_{ch_nominal}$
niedriger Ladungsschwerpunkt	$V_{ch} \approx V_{ch_nominal}$	$V_{ch} > V_{ch_nominal}$

5

Wahlweise kann die Schwerpunkthöhe auch aus den Radaufstandskräften an kurveninneren und kurvenäußeren Rädern bei Kurvenfahrt geschätzt werden. Bei einem hohen Massenschwerpunkt (d.h. hohe Zuladung) ist die Radaufstandskraft am kurvenäußeren Rad vergleichsweise höher als bei einem niedrigen Massenschwerpunkt bei gleicher Querb beschleunigung. Durch die erhöhte Kippneigung des Fahrzeugs werden die kurveninneren Räder bei hohem Massenschwerpunkt stärker entlastet. Aus dem Verhältnis der Radaufstandskräfte F_{Nl}/F_{Nr} kurveninnerer und kurvenäußerer Räder lässt sich somit die Höhe des Fahrzeugschwerpunkts qualitativ schätzen.

Fig. 4 zeigt den Verlauf des Radaufstandskraftverhältnis F_{Nl}/F_{Nr} und der Radschlüpf λ an einem linken und einem rechten Rad (Indizes l,r; hier ist $F_{Bl} = F_{Br}$). Bis zum Zeitpunkt t_0 fährt das Fahrzeug geradeaus und dann in eine Linkskurve. Der Radschlupf λ_l (Antriebs- oder Bremsschlupf) am kurveninneren linken Rad nimmt dabei zu, der am rechten Rad ab. Das Radaufstandskraftverhältnis F_{Nl}/F_{Nr} sinkt entsprechend, wie in der Figur zu erkennen ist. Durch die Auswertung des Radaufstandskraftverhältnisses in Abhängigkeit von der Querb beschleunigung lässt sich wiederum die Schwerpunkthöhe schätzen.

Fig. 5 zeigt die Abhängigkeit der Querb beschleunigung a_{yAR} (bei der das kurveninnere Hinterrad vom Boden abhebt) von der Schwerpunkthöhe h_{sp} (Bei der kritischen Querb beschleunigung a_{y_krit} kippt das Fahrzeug um). Wie zu erkennen ist, nimmt die Querb beschleunigung a_{yAR} mit zunehmender Schwerpunkthöhe h_{sp} ab. Durch zusätzliches Bremsen (siehe Verzögerung a_x)

- 5 reduziert sie sich weiter. Das Abheben eines Hinterrades kann somit erfasst und die Schwerpunkthöhe geschätzt werden.

- Durch eine Kombination der beiden Verfahren zur Schwerpunkthöhen-Bestimmung lässt sich eine qualitative
- 10 Verbesserung und eine höhere Verfügbarkeit der geschätzten Schwerpunkthöhe erreichen.

5

Bezugszeichenliste

10

	1	Steuergerät
	2	ESP-Sensorik
	3	Aktuator
15	4	Funktion zu Berechnung der Indikatorgröße
	5	Kippstabilisierungsalgorithmus
	6	zusätzliche Sensorik
	7	Signalaufbereitung
	8	Masse- und Schwerpunktsschätzung
20	9	Bremssystem
	10	Motormanagement
	S	Indikatorgröße
	F_N	Radaufstandskraft
	F_B	Radtangentialkraft
25	m	Fahrzeugmasse
	h_{sp}	Schwerpunktshöhe
	a_y	Querbeschleunigung
	a_x	Längsbeschleunigung
	P	Parameter
30	n	Raddrehzahlen
	λ	Radschlupf

5

Patentansprüche

10

1. Verfahren zur Kippstabilisierung eines Fahrzeugs in kritischen Fahrsituationen, bei dem ein Kippstabilisierungsalgorithmus (4,5,8) in einer kritischen Situation mittels eines Aktuators (3,9,10) in den Fahrbetrieb
15 eingreift, um das Fahrzeug zu stabilisieren, dadurch gekennzeichnet, dass die Fahrzeugmasse (m) ermittelt und der Kippstabilisierungsalgorithmus (4,5,8) in Abhängigkeit von der Fahrzeugmasse (m) ausgeführt wird.
- 20 2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Fahrzeugmasse (m) mittels eines Algorithmus (8) geschätzt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet,
25 dass eine Information über den Fahrzeugschwerpunkt (h_{sp}) geschätzt und der Kippstabilisierungsalgorithmus (4,5,8) in Abhängigkeit von der Fahrzeugmasse (m) und der Information über den Fahrzeugschwerpunkt (h_{sp}) ausgeführt wird.
- 30 4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Information über den Fahrzeugschwerpunkt (h_{sp}) aus der geschätzten charakteristischen Geschwindigkeit (v_{ch}) abgeleitet wird.
- 35 5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Information über den Fahrzeugschwerpunkt (h_{sp}) aus dem Verhältnis der Radaufstandskräfte (F_{Nl}/F_{Nr}) gegenüber liegender Räder bei einer Kurvenfahrt ermittelt wird.
- 40 6. Verfahren nach Anspruch 3 und 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Information über den Fahrzeugschwerpunkt (h_{sp}) aus

5 der geschätzten charakteristischen Geschwindigkeit (v_{ch}) und
aus dem Verhältnis der Radaufstandskräfte (F_{Nl}/F_{Nr}) gegenüber
liegender Räder bei einer Kurvenfahrt ermittelt wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 6, dadurch
10 gekennzeichnet, dass eine Indikatorgröße (S) mittels der ein
Stabilisierungseingriff freigegeben oder deaktiviert wird,
oder eine charakteristische Eigenschaft des Kippstabilisierungs-
algorithmus (4,5,8) in Abhängigkeit von der
Fahrzeugmasse (m) oder der Fahrzeugmasse (m) und der
15 Information über den Fahrzeugschwerpunkt (h_{sp}) bestimmt wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 6, dadurch
gekennzeichnet, dass eine Anregelschwelle, eine
Regelabweichung oder eine Stellgröße des Kippstabilisierungs-
20 algorithmus (4,5,8) in Abhängigkeit von der Fahrzeugmasse (m)
oder der Fahrzeugmasse (m) und der Information über den
Fahrzeugschwerpunkt (h_{sp}) bestimmt wird.

9. Fahrdynamikregelungssystem zur Kippstabilisierung eines
25 Fahrzeugs in kritischen Fahrsituationen, umfassend ein:
Steuergerät (1), in dem ein Kippstabilisierungsalgorithmus
(4,5,8) hinterlegt ist, eine Sensorik (2) zum Erfassen
aktueller Ist-Werte von Fahrzustandsgrößen ($a_y, \dot{\phi}, P, n$)
und einen Aktuator (3) zum Durchführen eines Stabilisierungseingriffs bei Erkennen einer kippkritischen Situation,
30 dadurch gekennzeichnet, dass mittels der Sensorik (2) eine
Information über die Fahrzeugmasse (m) ermittelt wird und der
Kippstabilisierungsalgorithmus (4,5) derart eingerichtet ist,
dass das Reglerverhalten eine Funktion der Fahrzeugmasse (m)
35 ist.

10. Fahrdynamikregelungssystem nach Anspruch 9, dadurch
gekennzeichnet, dass das Steuergerät (1) einen Algorithmus
(8) zum Schätzen der Fahrzeugmasse (m) umfasst.

- 5 11. Fahrdynamikregelungssystem nach Anspruch 9, dadurch
gekennzeichnet, dass das Steuergerät (1) einen Algorithmus
(8) zum Schätzen einer Information über den Fahrzeug-
schwerpunkt (h_{sp}) umfasst, wobei diese Information zusammen
mit der Fahrzeugmasse (m) bei einer Kippstabilisierung
10 berücksichtigt wird.
12. Fahrdynamikregelungssystem nach Anspruch 11, dadurch
gekennzeichnet, dass die Information über den
Fahrzeugschwerpunkt (h_{sp}) aus der geschätzten
15 charakteristischen Geschwindigkeit (v_{ch}) abgeleitet wird.
13. Fahrdynamikregelungssystem nach Anspruch 9, dadurch
gekennzeichnet, dass eine Sensorik (2,6) vorgesehen ist,
mittels der ein Verhältnis der Radaufstandskräfte (F_{Nl}/F_{Nr})
20 gegenüber liegender Räder ermittelt werden kann.

1 / 3

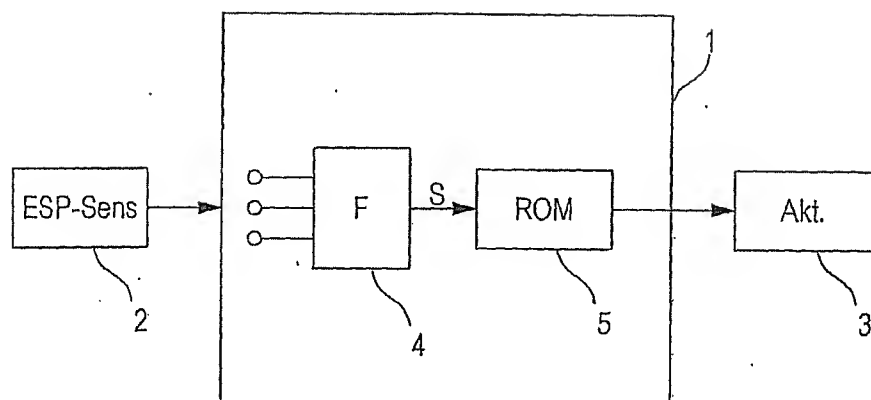


Fig. 1

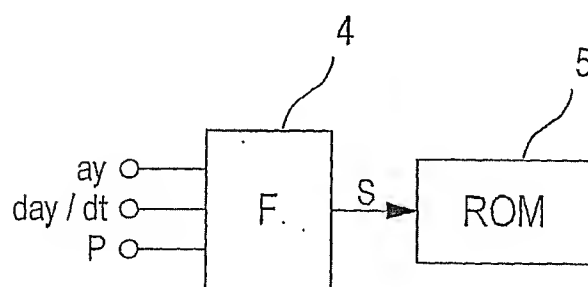


Fig. 2

2 / 3

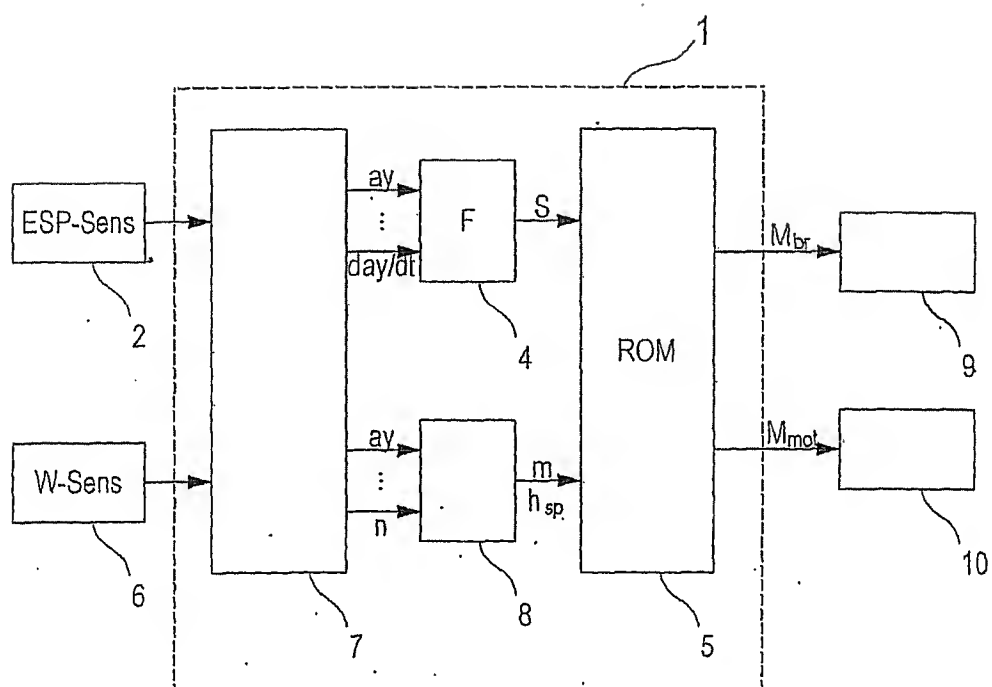


Fig. 3

3 / 3

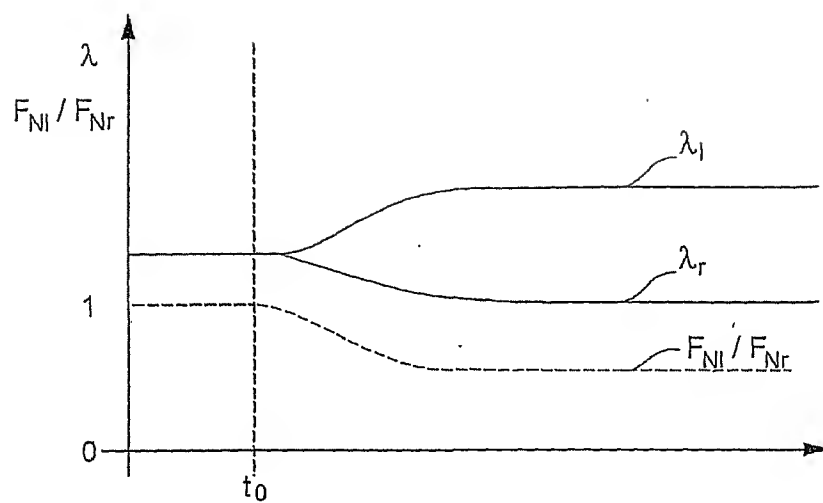


Fig. 4

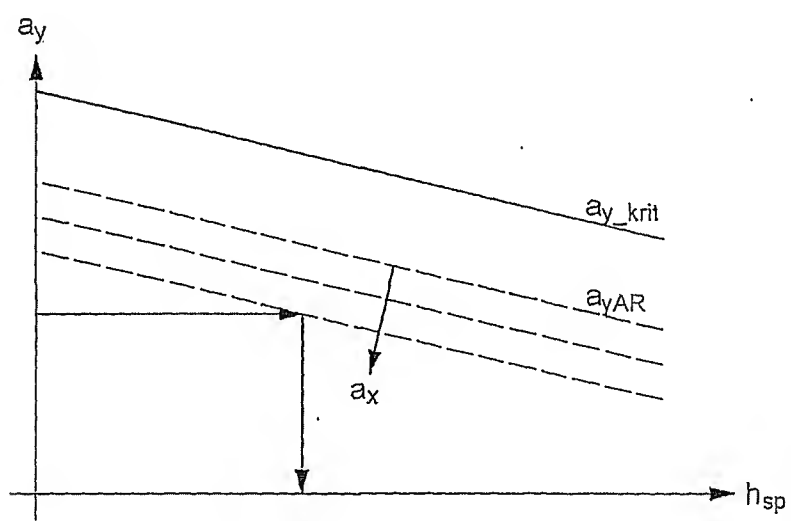


Fig. 5